肉仔鸡对25–羟基维生素D_3的需要量

陈冠华[1,2] 张金龙[1,2] 王建国[1,2] 张 宁[1,2] 瞿红侠[1] 王志祥[2] 闫永峰[1] 韩进诚[1*]

(1.商丘师范学院生命科学学院，商丘 476000；2.河南农业大学牧医工程学院，郑州 450002)

摘 要：本试验旨在研究1～21日龄和1～42日龄罗斯308肉仔鸡对饲粮25–羟基维生素D_3（25-OH-D_3）的适宜需要量。选取500只1日龄罗斯308肉仔鸡公雏，随机分成10个组，每组5个重复，每个重复10只鸡。10组肉仔鸡分别饲喂25-OH-D_3水平为50、100、200、400、600、800、1 600、2 400、3 200和4 000 IU/kg的饲粮。试验期42 d。结果表明：1)饲粮25-OH-D_3水平由50 IU/kg提高到600 IU/kg时，1～21日龄和1～42日龄肉仔鸡的体重、平均日增重和平均日采食量显著提高（P<0.05），料重比和死亡率显著降低（P<0.05）；进一步提高饲粮25-OH-D_3水平到4 000 IU/kg对生长性能指标无显著影响（P>0.05）。2）饲粮25-OH-D_3水平由50 IU/kg提高到600 IU/kg时，21日龄和42日龄肉仔鸡的骨骼（股骨、胫骨和跖骨）强度、重量、长度、灰分重量以及灰分、钙和磷含量显著提高（P<0.05）；进一步提高饲粮25-OH-D_3水平到4 000 IU/kg对骨骼参数无显著影响（P>0.05）。3）饲粮25-OH-D_3水平由50 IU/kg提高到600 IU/kg时，21日龄和42日龄肉仔鸡的血浆钙含量显著提高（P<0.05）；进一步提高饲粮25-OH-D_3水平到4 000 IU/kg对血浆钙含量无显著影响（P>0.05）。饲粮25-OH-D_3水平对肉仔鸡的血浆无机磷含量无显著影响（P>0.05）。4）饲粮25-OH-D_3水平由50 IU/kg提高到800 IU/kg时，11～14日龄和31～34日龄肉仔鸡的钙和总磷沉积率显著提高（P<0.05）；进一步提高饲粮25-OH-D_3水平到4 000 IU/kg对钙和总磷沉积率无显著影响（P>0.05）。综合本试验结果，以生长性能指标和骨骼参数为评价指标，采用折线回归模型分析得出，1～21日龄肉仔鸡饲粮25-OH-D_3的需要量为476 IU/kg，1～42日龄肉仔鸡饲粮25-OH-D_3的需要量为448 IU/kg。

关键词：25–羟基维生素D_3；需要量；生长性能；骨骼参数；肉仔鸡

中图分类号：S831.4+1 文献标识码： 文章编号：

维生素D_3在肝脏中经25–羟化酶的羟化作用转化为25–羟基维生素D_3（25-OH-D_3），

收稿日期：2016-12-14

基金项目：国家自然科学基金项目（31101732）；河南省教育厅项目（16A230003）

作者简介：陈冠华（1988—），男，河南杞县人，硕士研究生，从事动物营养与饲料科学研究。E-mail: chenguanhua2014@126.com

*通信作者：韩进诚，副教授，硕士生导师，E-mail: hjincheng@126.com

再经肾脏中 1α–羟化酶的羟化作用转化为最终的活性形式 1,25−二羟维生素 D_3[$1,25\text{-}(OH)_2\text{-}D_3$]来调节家禽体内钙（Ca）和磷（P）的动态平衡。现代集约化饲养条件下，家禽缺乏紫外线照射，因此必须添加外源性维生素 D_3 或其同功体来维持肉仔鸡的正常生长[1-2]。家禽饲粮中 25-OH-D_3 的生物学效价高于维生素 D_3，而且肠道吸收效率更高[3-5]，饲粮中用 25-OH-D_3 代替维生素 D_3 可增加肉仔鸡的体增重[6]、提高胸肉率[7-8]、改善骨骼的矿化[9]、促进肠道发育[10]和提高免疫力[11]。我国已将 25-OH-D_3 列入《饲料添加剂品种目录（2013）》，准许在家禽生产中将 25-OH-D_3 作为维生素类饲料添加剂使用。Yarger 等[12-13]推荐商品肉仔鸡饲粮中 25-OH-D_3 的添加水平为 2 760 IU/kg；也有研究表明，饲粮中添加较低剂量 25-OH-D_3 即可满足家禽的生长需要[14-16]。因此，本试验旨在研究饲粮 25-OH-D_3 水平对 1～21 日龄和 1～42 日龄罗斯 308 肉仔鸡生长性能、骨骼（股骨、胫骨和跖骨）矿化、血浆指标及钙和磷沉积率的影响，为生产中合理使用 25-OH-D_3 提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验动物

选取 500 只 1 日龄、体重[（43.84±0.22） g]相近的健康罗斯 308 肉仔鸡公雏，随机分为 10 个组，每组 5 个重复，每个重复 10 只鸡。试验期 42 d。肉仔鸡进行笼养，每个重复的肉仔鸡饲养于同一笼中（200 cm×50 cm×35 cm）。饲喂粉状配合饲粮，自由采食，充足饮水，按常规免疫程序进行免疫接种。

1.2 试验饲粮与试验设计

基础饲粮营养水平参考 NRC（1994）[17]和《鸡饲养标准》（NY/T 33—2004）[18]中肉仔鸡营养需要推荐值。在基础饲粮中分别添加 10 个水平的 25-OH-D_3 构成 10 种试验饲粮，饲粮 25-OH-D_3 添加水平分别为 50、100、200、400、600、800、1 600、2 400、3 200 和 4 000 IU/kg。基础饲粮组成及营养水平见表 1。25-OH-D_3 添加剂购自山东海能生物工程有限公司，该公司采用高效液相色谱法测定 25-OH-D_3 含量为 5.0×10^5 IU/g。

1.3 检测指标和方法

1.3.1 生长性能

分别于 21 日龄和 42 日龄时空腹称重肉仔鸡，每天记录各重复肉仔鸡的采食量和死亡鸡只数，死亡鸡只称重扣除采食量。统计试验期采食量，计算平均日采食量（g/d）、平均

日增重（g/d）、料重比（平均日采食量/平均日增重）和死亡率。

1.3.2 代谢试验

分别于 11～14 日龄和 31～34 日龄收集全部粪尿排泄物，进行钙磷代谢试验。以每个重复笼为试验单元，连续收集 96 h 新鲜排泄物，收集的排泄物在剔除毛屑杂物后，立即放入－20 ℃冰箱冷冻保存，用于分析排泄物中钙和磷含量。饲粮和排泄物样品分别采用乙二胺四乙酸（EDTA）滴定法测定钙含量，钼黄比色法测定总磷（TP）含量。钙和总磷沉积率计算公式为：

营养物质沉积率（%）=[(食入营养物质的量－排出营养物质的量)/食入营养物质的量]×100。

1.3.3 血浆生化指标

分别于 21 日龄和 42 日龄时，每重复随机选取接近该重复平均体重的 1 只肉仔鸡进行屠宰试验。用 1 mg/mL 肝素钠溶液润湿注射器，心脏采血 5 mL，3 000 g 离心 10 min，制备血浆，于－20 ℃冷冻保存。血浆钙和无机磷（Pi）含量采用岛津 CL−8000 全自动生化分析仪测定。

1.3.4 骨骼指标

屠宰试验中，剥离两侧股骨、胫骨和跖骨。将骨骼放入样品袋密封，于－20 ℃冷冻保存。将左侧腿部骨骼（股骨、胫骨和跖骨）在沸水中煮 3～5 min，去除残余肌肉、腓骨，剥离干净后，无水乙醇浸泡 36 h，无水乙醚浸泡 36 h，除去水分和脂肪；105 ℃烘干 24 h，用分析天平称量骨骼重量。用游标卡尺测定左侧腿部骨骼长度和直径（骨骼长度 1/2 处）。将骨骼压碎，放入坩埚，在 600 ℃灰化 36 h，以测定灰分含量。骨骼样品分别采用 EDTA 滴定法测定钙含量，钼黄比色法测定磷含量。右侧腿部骨骼（股骨、胫骨和跖骨）折断力（即骨骼强度）采用西北农林科技大学数显万能试验机（CMT-5504，深圳市新三思材料检测有限公司）测定，参数设置：跨度 40 mm，单位负荷 50 kg，位移速度 10 mm/min。

1.4 统计分析

以每重复为试验单元，用 SAS 9.0 数据统计软件对试验数据采用一般线性模型（GLM）程序进行分析，采用 Duncan 氏法进行多重比较，并进行线性和二次曲线趋势分

析，P<0.05 为差异显著。

利用 SAS 9.0 软件中的 PROC NLIN 程序进行折线回归模型参数分析，建立折线回归方程[19-20]：当 $X<R$ 时，$Y=L+U\times(R-X)$；当 $X\geqslant R$ 时，$Y=L$。其中，Y 为平均日增重等评价指标；L 为 25-OH-D_3 添加水平达到需要量时肉仔鸡的生长效应；U 值为模型的斜率；X 值为各组饲粮中对应的 25-OH-D_3 水平；R 值为肉仔鸡对 25-OH-D_3 的需要量。

2 结果与分析

2.1 饲粮 25-OH-D_3 水平对肉仔鸡生长性能的影响

由表 2 可知，饲粮 25-OH-D_3 水平对肉仔鸡的体重、平均日增重、平均日采食量、料重比和死亡率均有显著影响（P<0.05）。饲粮 25-OH-D_3 水平为 50 IU/kg 时，肉仔鸡的体重、平均日增重和平均日采食量显著低于其他组（P<0.05），料重比显著高于其他组（P<0.05）；饲粮 25-OH-D_3 水平由 50 IU/kg 提高到 200 IU/kg 时，肉仔鸡的体重、平均日增重和平均日采食量显著提高（P<0.05），料重比显著降低（P<0.05）；饲粮 25-OH-D_3 水平为 600 IU/kg 时，肉仔鸡的体重和平均日增重达到最大值；进一步将饲粮 25-OH-D_3 水平由 600 IU/kg 提高到 4 000 IU/kg 时，肉仔鸡的生长性能指标无显著变化（P>0.05）。

2.2 饲粮 25-OH-D_3 水平对肉仔鸡骨骼参数的影响

由表 3、4 和 5 可知，饲粮 25-OH-D_3 水平对肉仔鸡的股骨、胫骨和跖骨参数(除直径外)均有显著影响（P<0.05）。饲粮 25-OH-D_3 水平为 50 IU/kg 时，肉仔鸡的骨骼参数（除直径外）均显著低于其他组（P<0.05）；饲粮 25-OH-D_3 水平由 50 IU/kg 提高到 400 IU/kg 时，肉仔鸡的股骨、胫骨和跖骨强度、重量、长度、灰分重量、灰分含量、钙含量和磷含量均显著提高（P<0.05）；饲粮 25-OH-D_3 水平为 600 IU/kg 时，42 日龄肉仔鸡骨骼重量和灰分重量达到最大值；进一步将饲粮 25-OH-D_3 水平由 600 IU/kg 提高到 4 000 IU/kg 时，肉仔鸡的骨骼参数无显著变化（P>0.05）。饲粮 25-OH-D_3 水平对 21 日龄和 42 日龄肉仔鸡跖骨直径以及 21 日龄股骨直径无显著影响（P>0.05）。

2.3 饲粮 25-OH-D_3 水平对肉仔鸡血浆钙和无机磷含量以及钙和总磷沉积率的影响

由表 6 可知，饲粮 25-OH-D_3 水平对肉仔鸡的血浆钙含量及钙和总磷沉积率有显著影响（P<0.05），但对血浆无机磷含量无显著影响（P>0.05）。饲粮 25-OH-D_3 水平为 50 IU/kg 时，21 日龄肉仔鸡的血浆钙含量显著低于其他组（P<0.05）；饲粮 25-OH-D_3 水平由 50

IU/kg 提高到 600 IU/kg 时，42 日龄肉仔鸡的血浆钙含量显著提高（$P<0.05$）；进一步提高饲粮 25-OH-D_3 水平到 4 000 IU/kg 时，肉仔鸡的血浆钙含量无显著变化（$P>0.05$）。饲粮 25-OH-D_3 水平由 50 IU/kg 提高到 800 IU/kg 时，肉仔鸡的钙和总磷沉积率显著提高（$P<0.05$）；进一步提高饲粮 25-OH-D_3 水平到 4 000 IU/kg 时，肉仔鸡的钙和总磷沉积率无显著变化（$P>0.05$）。

2.4 肉仔鸡对饲粮 25-OH-D_3 的需要量

由表 7 和表 8 可知，以肉仔鸡的生长性能指标（平均日增重、平均日采食量）和骨骼参数（股骨、胫骨和跖骨重量及其灰分重量）为评价指标，采用折线回归模型评估饲粮 25-OH-D_3 的适宜需要量，结果显示，1～21 日龄肉仔鸡饲粮 25-OH-D_3 需要量为 476 IU/kg，1～42 日龄肉仔鸡饲粮 25-OH-D_3 的需要量为 448 IU/kg。

3 讨 论

3.1 饲粮 25-OH-D_3 水平对肉仔鸡生长性能的影响

本试验结果显示，饲粮 25-OH-D_3 水平为 50 IU/kg 时，肉仔鸡生长缓慢，死亡率高，骨骼强度、重量、长度、灰分重量及灰分、钙和磷含量低。饲粮 25-OH-D_3 水平由 50 IU/kg 提高到 600 IU/kg 时，1～21 日龄和 1～42 日龄肉仔鸡的体重和平均日增重与饲粮 25-OH-D_3 水平呈线性关系。结果表明，当饲粮维生素 D 不足时，肉仔鸡的生长性能下降；饲粮添加适宜水平的 25-OH-D_3 后，生长性能得到改善。饲粮 25-OH-D_3 水平由 600 IU/kg 提高到 4 000 IU/kg 时，饲粮 25-OH-D_3 水平对肉仔鸡的生长性能无显著影响。数据表明，钙和磷充足的饲粮中，添加高剂量 25-OH-D_3 对肉仔鸡的生长并无益处。

课题组研究显示，当饲粮 25-OH-D_3 水平由 50 IU/kg 提高到 400 IU/kg 时显著提高了肉仔鸡的体增重和采食量，降低了料重比和死亡率[4]。研究也发现，1～21 日龄肉仔鸡饲粮 25-OH-D_3 水平由 125 IU/kg 提高到 500 IU/kg 时，肉仔鸡的体重显著提高；当饲粮 25-OH-D_3 水平由 500 IU/kg 提高到 4 000 IU/kg 时，肉仔鸡的生长性能无显著变化[6]。Goodgame 等[15]的研究得到相似结果，7～21 日龄肉仔鸡饲粮 25-OH-D_3 水平由 100 IU/kg 增加到 800 IU/kg 时，显著提高了肉仔鸡的体重和采食量，对料重比无显著影响；当继续提高饲粮 25-OH-D_3 水平至 3 200 IU/kg 时，肉仔鸡的生长性能无显著变化。

3.2 饲粮 25-OH-D_3 水平对肉仔鸡骨骼参数的影响

骨骼（股骨、胫骨和跖骨）矿化是评定家禽维生素 D 作用效果的敏感指标，比生长性能指标更敏感[4,15]。本试验结果显示，饲粮 25-OH-D_3 水平为 50 IU/kg 时，肉仔鸡的骨骼强度、重量、长度、灰分重量及灰分、钙和磷含量最低。饲粮 25-OH-D_3 水平由 50 IU/kg 提高到 600 IU/kg 时，肉仔鸡的骨骼矿化指标迅速提高；但继续提高饲粮 25-OH-D_3 水平对肉仔鸡的骨骼矿化指标无显著影响。课题组研究显示，饲粮中 25-OH-D_3 水平由 50 IU/kg 提高到 400 IU/kg 时，显著提高了 21 日龄肉仔鸡的股骨和胫骨重量、长度、灰分重量及灰分、钙和磷含量[4]。研究也发现，饲粮 25-OH-D_3 水平由 100 IU/kg 提高到 800 IU/kg 时能显著提高肉仔鸡的骨骼强度、胫骨和趾骨灰分含量；继续提高饲粮 25-OH-D_3 水平对骨骼矿化指标无显著影响[15]。以上数据表明，饲粮 25-OH-D_3 水平为 400～800 IU/kg 时，已能满足肉仔鸡股骨、胫骨和跖骨矿化对维生素 D 的需求，继续提高饲粮 25-OH-D_3 水平对肉仔鸡的骨骼矿化指标无显著影响。

3.3 饲粮 25-OH-D_3 水平对肉仔鸡血浆指标及钙和总磷沉积率的影响

本试验结果显示，饲粮 25-OH-D_3 水平显著影响肉仔鸡的血浆钙含量，但对血浆无机磷含量无显著影响。研究表明，饲粮 25-OH-D_3 水平对 21 日龄和 42 日龄北京鸭血浆无机磷含量无显著影响[15]。

前期代谢试验结果显示，饲粮 25-OH-D_3 水平由 50 IU/kg 提高到 800 IU/kg 时，显著提高了 11～14 日龄肉仔鸡的钙和磷沉积率；继续提高饲粮 25-OH-D_3 水平对钙和磷沉积率无显著影响。后期代谢试验结果发现，饲粮 25-OH-D_3 水平由 50 IU/kg 提高到 4 000 IU/kg 时，31～34 日龄肉仔鸡的钙和磷沉积率呈先提高后降低的趋势。Applegate 等[21]研究表明，7～21 日龄肉仔鸡饲粮添加 25-OH-D_3 能促进植酸磷水解，进而提高总磷的沉积率。肉仔鸡饲粮中 25-OH-D_3 的生物学效价为维生素 D_3 的 2 倍[3-4]。对家禽维生素 D_3 的研究显示，饲粮维生素 D_3 水平由 300 IU/kg 提高到 1 200 IU/kg 时，35 日龄肉仔鸡排泄物中钙和总磷含量线性降低[22]。

3.4 肉仔鸡对饲粮 25-OH-D_3 的适宜需要量

本试验以肉仔鸡的生长性能指标（平均日增重、平均日采食量）和骨骼参数（股骨、胫骨和跖骨重量及其灰分重量）为评价指标进行曲线拟合，发现折线模型符合本试验的研究结果。根据折线模型回归方程评定 1～21 日龄肉仔鸡饲粮 25-OH-D_3 的最适需要量为 476

IU/kg，1～42 日龄肉仔鸡饲粮 25-OH-D_3 的最适需要量为 448 IU/kg。

目前关于肉仔鸡饲粮 25-OH-D_3 最适需要量的研究结果存在差异。Yarger 等[12-13]认为，以体增重和饲料效率为评价指标，肉仔鸡饲粮 25-OH-D_3 的需要量为 2 760 IU/kg。研究也发现，饲粮 25-OH-D_3 的最适添加量可能低于 Yarger 等[12-13]的推荐量。Fritts 等[6]报道，以 42 日龄肉仔鸡的体重和胫骨灰分含量为评价指标，肉仔鸡对饲粮 25-OH-D_3 的需要量为 500 IU/kg。Goodgame 等[15]以体重、胫骨灰分和强度为评价指标，肉仔鸡饲粮 25-OH-D_3 的需要量为 400～800 IU/kg。《鸡饲养标准》（NY/T 33—2004）[18]中推荐肉仔鸡维生素 D_3 添加量为 1 000 IU/kg。本课题组研究表明，肉仔鸡饲粮中 25-OH-D_3 的生物学效价约为维生素 D_3 的 2 倍[3-4]。依此推测，肉仔鸡饲粮对 25-OH-D_3 的需要量约为 500 IU/kg。该推测值与本试验结果较为接近。另外，石文标等[16]对北京鸭的研究显示，以日增重和胫骨指标为评价指标，1～21 日龄北京鸭对饲粮 25-OH-D_3 的需要量为 342 IU/kg，22～42 日龄北京鸭对饲粮 25-OH-D_3 的需要量为 316 IU/kg。

4 结 论

① 饲粮中添加适宜水平 25-OH-D_3 可改善肉仔鸡的生长性能，增强骨骼（股骨、胫骨和跖骨）矿化，提高血浆钙含量及钙、磷沉积率。

② 以生长性能指标和骨骼参数为评价指标，采用折线回归模型分析，1～21 日龄肉仔鸡对饲粮 25-OH-D_3 的需要量为 476 IU/kg，1～42 日龄肉仔鸡对饲粮 25-OH-D_3 的需要量为 448 IU/kg。

参考文献：

[1] EDWARDS H M,ELLIOT M A,SOONCHARERNYING S,et al.Quantitative requirement for cholecalciferol in the absence of ultraviolet light[J].Poultry Science,1994,73(2):288–294.

[2] MITCHELL R D,EDWARDS H M,Jr.,MCDANIEL G R.The effects of ultraviolet light and cholecalciferol and its metabolites on the development of leg abnormalities in chickens genetically selected for a high and low incidence of tibial dyschondroplasia[J].Poultry Science,1997,76(2):346–354.

[3] 瞿红侠,王建国,陈冠华,等.肉鸡日粮中 25–羟基维生素 D_3 与维生素 D_3 生物学效价比较[J].中国饲料,2015(20):25–28,32.

[4] HAN J C,CHEN G H,WANG J G,et al.Evaluation of relative bioavailability of 25-hydroxycholecalciferol to cholecalciferol for broiler chickens[J].Asian-Australasian Journal of Animal Sciences,2016,29(8):1145–1151.

[5] BAR A,SHARVIT M,NOFF D,et al.Absorption and excretion of cholecalciferol and of 25-hydroxycholecalciferol and metabolites in birds[J].Journal of Nutrition,1980,110(10):1930–1934.

[6] FRITTS C A,WALDROUP P W.Effect of source and level of vitamin D on live performance and bone development in growing broilers[J].Journal of Applied Poultry Research,2003,12(1):45–52.

[7] HUTTON K C,VAUGHN M A,LITTA G,et al.Effect of vitamin D status improvement with 25-hydroxycholecalciferol on skeletal muscle growth characteristics and satellite cell activity in broiler chickens[J].Journal of Animal Science,2014,92(8):3291–3299.

[8] VIGNALE K,GREENE E S,CALDAS J V,et al.25-hydroxycholecalciferol enhances male broiler breast meat yield through the mTOR pathway[J].Journal of Nutrition,2015,145(5):855–863.

[9] JANOCHA A,OSEK M,KLOCEK B,et al.Effect of adding 25-hydroxycholecalciferol in plant diets with and without fish meal on rearing results and bones of broiler chickens[J].Annals of Animal Science,2009,9(4):415–423.

[10] CHOU S H,CHUNG T K,YU B.Effects of supplemental 25-hydroxycholecalciferol on growth performance,small intestinal morphology,and immune response of broiler chickens[J].Poultry Science,2009,88(11):2333–2241.

[11] GÓMEZ-VERDUZCO G,MORALES-LÓPEZ R,AVILA-GOZÀLEZ E.Use of 25-hydroxycholecalciferol in diets of broiler chickens:effects on growth performance,immunity and bone calcification[J].The Journal of Poultry Science,2013,50(1):60–64.

[12] YARGER J G,SAUNDERS C A,MCNAUGHTON J L,et al.Comparison of dietary 25-hydroxycholecalciferol and cholecalciferol in broiler chickens[J].Poultry Science,1995,74(7):1159–1167.

[13] YARGER J G,QUARLES C L,HOLLIS B W,et al.Safety of 25-hydroxycholecalciferol as a source of cholecalciferol in poultry rations[J].Poultry Science,1995,74(9):1437–1446.

[14] European Food Safety Authority.Safety and efficacy of 25-hydroxycholecalciferol as a feed additive for poultry and pigs[J].EFSA Journal,2009,7(2):969.

[15] GOODGAME S D,MUSSINI F J,LU C,et al.Evaluation of a fermentation source of 25-hydroxycholecalciferol in broiler diets[J].International Journal of Poultry Science,2011,10(4):295–299.

[16] 石文标.北京鸭维生素 D_3 与 25–羟维生素 D_3 的需要量及其相对生物学效价的研究[D].硕士学位论文.北京:中国农业科学院,2013:13–53.

[17] NRC.Nutrient requirements of poultry[S].Washington,D. C.:National Academy Press,1994.

[18] 中华人民共和国农业部.鸡饲养标准[S].北京:中国农业出版社,2004.

[19] ROBBINS K R,SAXTON A M,SOUTHERN L L.Estimation of nutrient requirements using broken-line regression analysis[J].Journal of Animal Science,2006,84(13 Suppl.):E155-E165.

[20] 王爽.生长前期北京鸭维生素 D 需要量及日粮维生素 D 水平对北京鸭钙磷代谢的影响研究[D].硕士学位论文.北京:中国农业科学院,2010:12–18.

[21] APPLEGATE T J,ANGEL R,CLASSEN H L.Effect of dietary calcium,25-hydroxycholecalciferol,or bird strain on small intestinal phytase activity in broiler chickens[J].Poultry Science,2003,82(7):1140–1148.

[22] RAO S V R,RAJU M V L N,PANDA A K,et al.Performance and bone mineralisation in broiler chicks fed on diets with different concentrations of cholecalciferol at a constant ratio of calcium to non-phytate phosphorus[J].British Poultry Science,2009,50(4):528–535.

Requirement of 25-Hydroxycholecalciferol for Broilers

CHEN Guanhua[1,2] ZHANG Jinlong[1,2] WANG Jianguo[1,2] ZHANG Ning[1,2] QU Hongxia[1]

WANG Zhixiang[2] YAN Yongfeng[1] HAN Jincheng[1*]

(1. *College of Life Science*, *Shangqiu Normal University*, *Shangqiu* 476000, *China*; 2. *College of Animal Husbandry and Veterinary Science*, *Henan Agricultural University*, *Zhengzhou* 450002, *China*)

Abstract: This experiment was conducted to investigate the dietary optimum requirement of 25-

*Corresponding author, associate professor, E-mail: hjincheng@126.com （责任编辑 李慧英）

hydroxycholecalciferol (25-OH-D_3) for Ross 308 broilers aged from 1 to 21 days and 1 to 42 days. Five hundred one-day-old male Rose 308 broilers were randomly assigned to ten groups with five replicates per group and ten birds per replicate. Dietary 25-OH-D_3 levels were 50, 100, 200, 400, 600, 800, 1 600, 2 400, 3 200, and 4 000 IU/kg, respectively. The experiment lasted for 42 days. The results showed as follows: 1) the body weight (BW), average daily gain (ADG) and average daily feed intake (ADFI) of broilers aged from 1 to 21 days and 1 to 42 days were significantly increased but the ratio of feed to gain (F/G) and mortality significantly decreased when dietary 25-OH-D_3 level increased from 50 to 600 IU/kg (P<0.05). No differences in growth performance indexes were observed when dietary 25-OH-D_3 level increased from 600 to 4 000 IU/kg (P>0.05). 2) The bone (femur, tibia and metatarsus) strength, weight, length, ash weight and ash, calcium, and phosphorus contents of broilers aged at 21 and 42 days were significantly increased when dietary 25-OH-D_3 level increased from 50 to 600 IU/kg (P<0.05). No differences in bone parameters were found when dietary 25-OH-D_3 level increased from 600 to 4 000 IU/kg (P>0.05). 3) Plasma calcium content of broilers aged at 21 and 42 days was significantly increased when dietary 25-OH-D_3 level increased from 50 to 600 IU/kg (P<0.05). No difference in plasma calcium content was found when dietary 25-OH-D_3 level increased from 600 to 4 000 IU/kg (P>0.05). Dietary 25-OH-D_3 level had no significant effect on the plasma inorganic phosphorus content of broilers (P>0.05). 4) The depositions of calcium and total phosphorus of broiler aged from 11 to 14 days and 31 to 34 days were significantly increased when dietary 25-OH-D_3 level increased from 50 to 800 IU/kg (P<0.05). No differences in depositions of calcium and total phosphorus were found when dietary 25-OH-D_3 level increased from 800 to 4 000 IU/kg (P>0.05). In conclusion, dietary requirement of 25-OH-D_3 of broilers aged from 1 to 21 days is 476 IU/kg and dietary requirement of 25-OH-D_3 of broilers aged from 1 to 42 days is 448 IU/kg based on broken-line regression model analysis using the growth performance indexes and bone parameters as criteria.

Key words: 25-hydroxycholecalciferol; requirement; growth performance; bone parameters;

表 1 基础饲粮组成及营养水平（风干基础）

Table 1 Composition and nutrient levels of basal diets (air-day basis) %

项目 Items	1～21 日龄 Aged at 1 to 21 days	22～42 日龄 Aged at 22 to 42 days
原料 Ingredients		
玉米 Corn	58.12	63.28
豆粕 Soybean meal	32.07	27.52
豆油 Soybean oil	2.20	3.00
大豆蛋白粉 Soybean protein powder	3.50	2.74
石粉 Limestone	1.36	1.45
磷酸氢钙 $CaHPO_4$	1.94	1.36
L-赖氨酸 *L*-Lys	0.14	0.14
DL-蛋氨酸 *DL*-Met	0.14	0.08
维生素预混料 Vitamin premix[1)]	0.02	0.02
微量元素预混料 Trace mineral premix[2)]	0.01	0.01
氯化胆碱 Choline chloride	0.20	0.10
食盐 NaCl	0.30	0.30
合计 Total	100.00	100.00
营养水平 Nutrient levels[3)]		
表观代谢能 AME/(MJ/kg)	12.34	12.78
粗蛋白质 CP	21.07	19.08
钙 Ca	0.97	0.86
总磷 TP	0.69	0.58
非植酸磷 NPP	0.45	0.35
赖氨酸 Lys	1.10	0.99
蛋氨酸 Met	0.50	0.41

1)维生素预混料为每千克饲粮提供 Vitamin premix provided the following per kg of diets：VA 8 000 IU，VE 20 IU，VK 0.5 mg，VB_1 2.0 mg，VB_2 8.0 mg，VB_6 3.5 mg，VB_{12} 0.01 mg，泛酸 pantothenic acid 10.0 mg，烟酸 niacin 35.0 mg，叶酸 folic acid 0.55 mg，生物素 biotin 0.18 mg。

2)微量元素预混料为每千克饲粮提供 Trace mineral premix provided the following per kg of diets：Fe 80 mg，Zn 40 mg，Cu 8 mg，Mn 60 mg，I 0.35 mg，Se 0.15 mg。

3)钙、总磷为实测值，其余为计算值。Ca and TP were measured values, while the others were calculated values.

表 2 饲粮 25-OH-D_3 水平对肉仔鸡生长性能的影响

Table 2 Effects of dietary 25-OH-D_3 level on growth performance of broilers

25-羟基维生素 D_3 水平 25-OH-D_3 level/(IU/kg)	体重 BW/g		平均日增重 ADG/g		平均日采食量 ADFI/g		料重比 F/G		死亡率 Mortality/%	
	21 日龄 Aged at 21 days	42 日龄 Aged at 42 days	1～21 日龄 Aged from 1 to 21 days	1～42 日龄 Aged from 1 to 42 days	1～21 日龄 Aged from 1 to 21 days	1～42 日龄 Aged from 1 to 42 days	1～21 日龄 Aged from 1 to 21 days	1～42 日龄 Aged from 1 to 42 days	1～21 日龄 Aged from 1 to 21 days	1～42 日龄 Aged from 1 to 42 days
50	471^{d}	788^{c}	20.33^{d}	17.72^{c}	38.21^{d}	63.86^{d}	1.88^{a}	3.60^{a}	8^{a}	26^{a}
100	637^{c}	1 738^{b}	28.23^{c}	40.34^{b}	45.73^{c}	80.73^{c}	1.62^{b}	2.00^{b}	6^{ab}	12^{b}
200	806^{ab}	2 567^{a}	36.27^{ab}	60.07^{a}	51.13^{b}	117.41^{ab}	1.41^{d}	1.95^{bc}	0^{c}	4^{b}
400	835^{ab}	2 679^{a}	37.68^{ab}	62.73^{a}	54.58^{ab}	119.44^{ab}	1.45^{d}	1.90^{bc}	2^{bc}	2^{b}
600	858^{a}	2 819^{a}	38.83^{a}	66.09^{a}	56.83^{a}	122.16^{ab}	1.46^{cd}	1.85^{c}	0^{c}	2^{b}
800	826^{ab}	2 772^{a}	37.30^{ab}	64.97^{a}	54.83^{ab}	124.40^{a}	1.47^{cd}	1.91^{bc}	0^{c}	2^{b}
1 600	829^{ab}	2 714^{a}	37.34^{ab}	63.55^{a}	54.57^{ab}	115.15^{b}	1.46^{cd}	1.81^{c}	0^{c}	2^{b}
2 400	823^{ab}	2 753^{a}	37.12^{ab}	64.51^{a}	54.10^{ab}	119.15^{ab}	1.46^{cd}	1.85^{c}	2^{bc}	4^{b}
3 200	822^{ab}	2 729^{a}	37.07^{ab}	63.92^{a}	55.10^{ab}	118.08^{ab}	1.49^{cd}	1.85^{c}	0^{c}	2^{b}
4 000	772^{b}	2 678^{a}	34.66^{b}	62.71^{a}	54.83^{ab}	114.42^{b}	1.58^{bc}	1.82^{c}	2^{bc}	4^{b}

标准误 SE	17	93	0.83	2.22	0.85	3.07	0.02	0.08	1	1
P 值 *P*-value	<0.000 1	<0.000 1	<0.000 1	<0.000 1	<0.000 1	<0.000 1	<0.000 1	<0.000 1	0.024 9	<0.000 1
线性 Linear	<0.000 1	<0.000 1	<0.000 1	<0.000 1	<0.000 1	<0.000 1	0.003 1	0.005 9	0.840 1	0.009 1
二次曲线 Quadratic	0.000 2	0.002 4	0.000 2	0.002 4	0.008 4	0.000 3	0.001 3	0.042 4	0.313 5	0.034 7

同列数据肩标相同或无字母表示差异不显著(P>0.05)，不同小写字母表示差异显著(P<0.05)。下表同。

In the same column, values with the same or no letter superscripts mean no significant difference (P>0.05), while with different small letter superscripts mean significant difference (P<0.05). The same as below.

表 3 饲粮 25-OH-D_3 水平对肉仔鸡股骨参数的影响

Table 3 Effects of dietary 25-OH-D_3 level on femur parameters of broilers

25-羟基维生素 D_3 水平 25-OH-D_3 level/(IU/kg)	强度 Strength/N		重量 Weight/g		长度 Length/cm		直径 Diameter/cm		灰分重量 Ash weight/g		灰分含量 Ash content/%		钙含量 Ca content/%		磷含量 P content/%	
	21 日龄 Aged at	42 日龄 Aged at	21 日龄 Aged at	42 日龄 Aged at	21 日龄 Aged at	42 日龄 Aged at	21 日龄 Aged at	42 日龄 Aged at	21 日龄 Aged at	42 日龄 Aged at	21 日龄 Aged at	42 日龄 Aged at	21 日龄 Aged at	42 日龄 Aged at	21 日龄 Aged at	42 日龄 Aged at

	21 days	42 days	21 days	42 days	21 days	42 days	21 days	42 days	21 days	42 days	21 days	42 days	21 days	42 days	21 days	42 days
50	—	74.12^{d}	0.90^{e}	2.00^{c}	3.99^{c}	4.91^{c}	0.61	0.85^{d}	0.32^{e}	0.66^{e}	34.91^{d}	33.38^{c}	11.87^{c}	11.28^{d}	6.36^{c}	5.63^{e}
100	—	170.22^{c}	1.15^{d}	3.02^{b}	4.50^{b}	6.02^{b}	0.63	0.86^{cd}	0.48^{d}	1.28^{d}	41.16^{c}	43.31^{b}	14.94^{b}	15.50^{c}	7.18^{b}	7.65^{d}
200	—	214.04^{bc}	1.41^{c}	4.48^{a}	4.82^{a}	7.14^{a}	0.62	0.94^{bc}	0.63^{c}	1.97^{c}	45.10^{b}	43.90^{ab}	17.04^{a}	15.66^{c}	7.83^{a}	7.97^{bcd}
400	—	233.22^{ab}	1.57^{abc}	4.65^{a}	4.94^{a}	7.47^{a}	0.64	0.97^{ab}	0.73^{ab}	2.11^{abc}	46.45^{ab}	45.63^{ab}	17.40^{a}	16.67^{ab}	8.27^{a}	8.11^{bcd}
600	—	273.36^{a}	1.59^{ab}	5.02^{a}	4.93^{a}	7.52^{a}	0.62	1.04^{a}	0.74^{ab}	2.34^{a}	46.53^{ab}	46.74^{a}	17.15^{a}	17.44^{a}	8.03^{a}	9.01^{a}
800	—	252.24^{ab}	1.43^{bc}	4.93^{a}	4.85^{a}	7.36^{a}	0.57	1.02^{ab}	0.68^{bc}	2.17^{abc}	47.10^{ab}	43.99^{ab}	16.94^{a}	16.21^{bc}	8.33^{a}	7.77^{cd}
1 600	—	276.46^{a}	1.70^{a}	4.71^{a}	5.01^{a}	7.14^{a}	0.64	0.95^{ab}	0.81^{a}	2.15^{abc}	47.40^{ab}	45.78^{ab}	17.32^{a}	17.20^{a}	8.27^{a}	8.57^{abc}
2 400	—	262.38^{ab}	1.54^{abc}	4.63^{a}	4.96^{a}	7.31^{a}	0.59	0.94^{abc}	0.73^{ab}	2.05^{bc}	47.63^{ab}	44.35^{ab}	17.34^{a}	16.16^{bc}	8.25^{a}	8.04^{bcd}
3 200	—	235.98^{ab}	1.52^{abc}	4.88^{a}	4.91^{a}	7.40^{a}	0.63	1.02^{ab}	0.73^{ab}	2.27^{ab}	47.97^{a}	46.48^{a}	17.72^{a}	17.20^{a}	8.35^{a}	8.70^{ab}
4 000	—	214.64^{bc}	1.62^{a}	4.84^{a}	4.80^{a}	7.32^{a}	0.63	1.02^{ab}	0.76^{ab}	2.12^{abc}	47.09^{ab}	43.86^{ab}	16.52^{a}	16.20^{bc}	8.03^{a}	8.22^{abcd}
标准误 SE	—	9.56	0.04	0.14	0.05	0.12	0.01	0.02	0.02	0.08	0.60	0.58	0.27	0.25	0.10	0.15
P 值 *P*-value	—	<0.000 1	<0.000 1	<0.000 1	<0.000 1	<0.000 1	0.166 9	<0.000 1	<0.000 1	<0.000 1	<0.000 1	<0.000 1	<0.000 1	<0.000 1	<0.000 1	<0.000 1
线性 Linear	—	<0.000 1	0.000 5	<0.000 1	0.000 2	0.000 2	0.336 7	0.025 0	<0.000 1	<0.000 1	<0.000 1	0.001 2	<0.000 1	0.000 2	<0.000 1	0.003 2

二次曲线 Quadratic	—	0.001 0	0.025 0	0.005 8	0.007 7	0.004 4	0.491 0	0.293 2	0.030 4	0.004 5	0.060 1	0.016 0	0.014 3	0.009 1	0.032 6	0.120 1

表 4 饲粮 25-OH-D_3 水平对肉仔鸡胫骨参数的影响

Table 4 Effects of dietary 25-OH-D_3 level on tibia parameters of broilers

25-羟基维生素 D_3 水平 25-OH-D_3 level/(IU/kg)	强度 Strength/N		重量 Weight/g		长度 Length/cm		直径 Diameter/cm		灰分重量 Ash weight/g		灰分含量 Ash content/%		钙含量 Ca content/%		磷含量 P content/%	
	21 日龄 Aged at 21 days	42 日龄 Aged at 42 days	21 日龄 Aged at 21 days	42 日龄 Aged at 42 days	21 日龄 Aged at 21 days	42 日龄 Aged at 42 days	21 日龄 Aged at 21 days	42 日龄 Aged at 42 days	21 日龄 Aged at 21 days	42 日龄 Aged at 42 days	21 日龄 Aged at 21 days	42 日龄 Aged at 42 days	21 日龄 Aged at 21 days	42 日龄 Aged at 42 days	21 日龄 Aged at 21 days	42 日龄 Aged at 42 days
50	36.26^{d}	81.18^{c}	1.19^{e}	2.44^{f}	5.43^{d}	6.86^{c}	0.48^{c}	0.67^{c}	0.41^{e}	0.87^{d}	33.89^{d}	36.03^{e}	11.61^{d}	12.53^{d}	6.03^{d}	6.31^{b}
100	63.78^{c}	188.93^{b}	1.46^{d}	4.08^{e}	5.97^{c}	8.13^{b}	0.53^{b}	0.74^{bc}	0.57^{d}	1.80^{c}	39.04^{c}	44.16^{d}	13.72^{c}	16.15^{c}	6.87^{c}	8.08^{a}
200	109.54^{b}	201.74^{b}	2.01^{c}	6.17^{d}	6.43^{b}	9.65^{a}	0.57^{ab}	0.81^{ab}	0.87^{c}	2.86^{b}	43.17^{b}	46.70^{abc}	15.70^{b}	17.19^{ab}	7.47^{b}	8.10^{a}
400	126.20^{ab}	261.52^{ab}	2.10^{bc}	6.60^{bcd}	6.55^{ab}	10.11^{a}	0.54^{ab}	0.78^{abc}	0.96^{abc}	3.11^{ab}	45.87^{a}	47.37^{abc}	16.93^{a}	17.80^{a}	8.14^{a}	8.73^{a}
600	126.60^{ab}	316.52^{a}	2.21^{abc}	7.61^{a}	6.62^{ab}	10.09^{a}	0.57^{ab}	0.88^{a}	0.99^{ab}	3.50^{a}	44.79^{ab}	46.12^{abcd}	16.26^{ab}	17.58^{a}	8.00^{a}	8.44^{a}

800	120.36^{ab}	274.84^{a}	2.04^{c}	7.21^{ab}	6.50^{ab}	9.82^{a}	0.54^{ab}	0.84^{ab}	0.91^{bc}	3.25^{ab}	44.89^{ab}	45.33^{bcd}	16.74^{a}	16.57^{bc}	8.13^{a}	8.05^{a}
1 600	135.12^{a}	320.42^{a}	2.35^{a}	6.53^{bcd}	6.77^{a}	9.64^{a}	0.58^{a}	0.80^{ab}	1.06^{a}	3.10^{ab}	45.22^{a}	47.58^{ab}	16.60^{a}	17.69^{a}	8.18^{a}	8.83^{a}
2 400	119.58^{ab}	253.06^{ab}	2.12^{bc}	6.24^{cd}	6.64^{ab}	9.98^{a}	0.53^{ab}	0.76^{bc}	0.98^{abc}	2.98^{b}	46.27^{a}	47.76^{a}	16.97^{a}	17.56^{a}	8.06^{a}	8.47^{a}
3 200	129.58^{ab}	249.42^{ab}	2.13^{abc}	6.82^{abcd}	6.62^{ab}	10.04^{a}	0.55^{a}	0.83^{ab}	0.98^{abc}	3.21^{ab}	46.00^{a}	47.18^{abc}	16.98^{a}	17.80^{a}	8.17^{a}	8.80^{a}
4 000	124.92^{ab}	292.10^{a}	2.27^{ab}	7.04^{abc}	6.52^{ab}	9.93^{a}	0.57^{ab}	0.83^{ab}	1.01^{ab}	3.17^{ab}	44.70^{ab}	45.14^{cd}	16.64^{a}	16.36^{bc}	8.12^{a}	8.72^{a}
标准误 SE	4.89	11.71	0.05	0.23	0.06	0.16	0.01	0.01	0.03	0.12	0.56	0.51	0.25	0.23	0.10	0.13
P 值 *P*-value	<0.000 1	<0.000 1	<0.000 1	<0.000 1	<0.000 1	<0.000 1	0.001 2	0.011 0	<0.000 1	<0.000 1	<0.000 1	<0.000 1	<0.000 1	<0.000 1	<0.000 1	<0.000 1
线性 Linear	<0.000 1	0.018 1	0.000 1	0.000 3	<0.000 1	0.000 1	0.303 0	0.145 4	<0.000 1	<0.000 1	<0.000 1	0.000 2	<0.000 1	<0.000 1	<0.000 1	0.018 9
二次曲线 Quadratic	0.015 1	0.011 7	0.018 7	0.001 8	0.012 2	0.009 2	0.084 7	0.091 0	0.019 6	0.001 9	0.018 4	0.015 6	0.023 7	0.004 2	0.021 1	0.396 1

表 5 饲粮 25-OH-D_3 水平对肉仔鸡跖骨参数的影响

Table 5 Effects of dietary 25-OH-D_3 level on metatarsus parameters of broilers

25-羟基维生素 D_3 水平 25-OH-D_3 level/(IU/kg)	强度 Strength/N		重量 Weight/g		长度 Length/cm		直径 Diameter/cm		灰分重量 Ash weight/g		灰分含量 Ash content/%		钙含量 Ca content/%		磷含量 P content/%	
	21 日龄 Aged at 21 days	42 日龄 Aged at 42 days	21 日龄 Aged at 21 days	42 日龄 Aged at 42 days	21 日龄 Aged at 21 days	42 日龄 Aged at 42 days	21 日龄 Aged at 21 days	42 日龄 Aged at 42 days	21 日龄 Aged at 21 days	42 日龄 Aged at 42 days	21 日龄 Aged at 21 days	42 日龄 Aged at 42 days	21 日龄 Aged at 21 days	42 日龄 Aged at 42 days	21 日龄 Aged at 21 days	42 日龄 Aged at 42 days
50	—	68.34^{c}	0.84^{c}	1.77^{d}	4.16^{c}	5.13^{d}	0.47	0.60	0.25^{c}	0.62^{d}	29.99^{c}	35.28^{c}	10.18^{c}	11.52^{c}	5.09^{c}	5.91^{d}
100	—	106.36^{b}	1.00^{b}	2.44^{c}	4.43^{b}	6.46^{c}	0.47	0.67	0.38^{b}	1.04^{c}	38.27^{b}	42.33^{b}	13.47^{b}	14.98^{b}	6.46^{b}	7.44^{c}
200	—	118.13^{ab}	1.23^{a}	3.59^{b}	4.85^{a}	7.17^{b}	0.48	0.68	0.53^{a}	1.62^{b}	42.91^{a}	44.97^{ab}	15.47^{a}	16.60^{a}	7.48^{a}	7.58^{bc}
400	—	123.74^{ab}	1.27^{a}	3.95^{ab}	4.88^{a}	7.60^{ab}	0.47	0.68	0.55^{a}	1.81^{ab}	43.55^{a}	45.75^{a}	15.73^{a}	17.01^{a}	7.69^{a}	7.94^{abc}
600	—	144.88^{a}	1.33^{a}	4.16^{a}	4.86^{a}	7.64^{a}	0.50	0.72	0.58^{a}	1.91^{a}	44.11^{a}	45.90^{a}	16.11^{a}	16.71^{a}	7.52^{a}	8.03^{abc}
800	—	145.08^{a}	1.21^{a}	3.83^{ab}	4.78^{a}	7.39^{ab}	0.46	0.70	0.52^{a}	1.74^{ab}	43.19^{a}	45.34^{a}	16.23^{a}	16.45^{a}	7.55^{a}	8.28^{ab}
1 600	—	147.64^{a}	1.35^{a}	3.60^{b}	4.97^{a}	7.26^{ab}	0.48	0.69	0.59^{a}	1.62^{b}	43.46^{a}	45.16^{a}	15.83^{a}	16.55^{a}	7.51^{a}	8.61^{a}

2 400	—	130.58^{ab}	1.29^{a}	3.65^{b}	4.90^{a}	7.42^{ab}	0.46	0.68	0.56^{a}	1.65^{b}	43.79^{a}	45.23^{a}	16.24^{a}	16.57^{a}	7.68^{a}	8.13^{abc}
3 200	—	143.22^{a}	1.26^{a}	3.98^{ab}	4.81^{a}	7.49^{ab}	0.47	0.68	0.56^{a}	1.75^{ab}	44.46^{a}	43.85^{ab}	16.34^{a}	16.31^{a}	7.98^{a}	8.00^{abc}
4 000	—	129.03^{ab}	1.34^{a}	4.07^{ab}	4.86^{a}	7.52^{ab}	0.46	0.72	0.58^{a}	1.73^{ab}	43.62^{a}	42.42^{b}	16.12^{a}	15.86^{ab}	7.69^{a}	7.95^{abc}
标准误 SE	—	4.39	0.03	0.11	0.04	0.11	0.01	0.01	0.02	0.06	0.65	0.50	0.28	0.24	0.13	0.12
P 值 *P*-value	—	<0.000 1	<0.000 1	<0.000 1	<0.000 1	<0.000 1	0.513 5	0.127 6	<0.000 1	<0.000 1	<0.000 1	<0.000 1	<0.000 1	<0.000 1	<0.000 1	<0.000 1
线性 Linear	—	0.574 8	0.001 9	0.000 7	0.001 9	0.001 1	0.354 5	0.296 4	0.000 3	0.000 3	0.000 3	0.001 5	0.000 1	0.001 6	0.000 2	0.000 7
二次曲线 Quadratic	—	0.292 9	0.044 1	0.012 9	0.016 0	0.009 9	0.988 3	0.273 5	0.025 4	0.001 3	0.021 7	<0.000 1	0.026 7	0.000 7	0.093 1	0.024 2

表 6 饲粮 25-OH-D_3水平对肉仔鸡血浆钙和无机磷含量以及钙和总磷沉积率的影响

Table 6 Effects of dietary 25-OH-D_3 level on plasma Ca and Pi contents and Ca and TP deposition rates of broilers

25-羟基维生素 D_3水平 25-OH-D_3 level/(IU/kg)	血浆钙含量 Plasma Ca content/(mg/dL)		血浆无机磷含量 Plasma Pi content/(mg/dL)		钙沉积率 Ca deposition rate/%		总磷沉积率 TP deposition rate/%	
	21 日龄 Aged at 21 days	42 日龄 Aged at 42 days	21 日龄 Aged at 21 days	42 日龄 Aged at 42 days	11～14 日龄 Aged from 11 to 14 days	31～34 日龄 Aged from 31 to 34 days	11～14 日龄 Aged from 11 to 14 days	31～34 日龄 Aged from 31 to 34 days
50	6.30^{b}	6.20^{c}	4.20	3.99	17.15^{e}	26.37^{c}	38.76^{d}	43.77^{b}
100	7.60^{a}	6.62^{bc}	4.28	4.46	27.08^{de}	33.05^{bc}	41.78^{cd}	50.02^{ab}
200	8.10^{a}	6.99^{abc}	4.43	4.78	33.68^{cd}	35.77^{b}	48.72^{bc}	52.64^{ab}
400	8.31^{a}	7.06^{abc}	4.81	4.81	39.66^{bc}	49.95^{a}	49.23^{bc}	52.99^{ab}
600	8.46^{a}	6.98^{abc}	4.84	4.77	45.63^{ab}	48.18^{a}	50.27^{bc}	54.84^{ab}
800	8.01^{a}	7.37^{ab}	4.73	4.99	44.22^{abc}	50.64^{a}	53.65^{ab}	59.39^{a}
1 600	8.71^{a}	7.36^{ab}	4.75	4.56	46.64^{ab}	49.22^{a}	52.79^{ab}	52.43^{ab}
2 400	8.23^{a}	7.98^{a}	4.45	5.06	44.74^{abc}	38.95^{b}	53.21^{ab}	48.17^{ab}

3 200	7.98[a]	6.98[abc]	4.71	4.45	51.50[a]	36.22[b]	54.50[ab]	44.13[b]
4 000	7.94[a]	7.84[a]	4.86	4.81	53.43[a]	37.34[b]	61.64[a]	48.13[ab]
标准误 SE	0.15	0.14	0.11	0.12	1.68	1.41	1.06	0.96
P 值 *P*-value	0.030 6	0.008 5	0.089 3	0.830 7	<0.000 1	<0.000 1	<0.000 1	0.001 6
线性 Linear	0.067 1	0.002 0	0.200 0	0.574 8	<0.000 1	0.027 4	0.000 2	0.705 5
二次曲线 Quadratic	0.040 9	0.249 8	0.251 5	0.292 9	0.832 7	<0.000 1	0.849 8	<0.000 1

表 7 折线模型评定 1～21 日龄肉仔鸡对饲粮 25-OH-D_3 的需要量

Table 7 Dietary 25-OH-D_3 requirement of broilers aged from 1 to 21 days estimated based on broken-line model

评价指标 Response criteria	模型参数 Model parameters	*P* 值 *P*-value	R^2	25-羟基维生素 D_3 需要量 25-OH-D_3 requirement/(IU/kg)	渐进标准误 Asymptotic SE	渐进 95%置信区间 Asymptotic 95% CI
平均日增重 ADG/g	L=36.696 6, U=–0.028 4, R=426.0	<0.000 1	0.637 3	426	41.0	343.5～508.6
平均日采食量 ADFI/g	L=54.685 6, U=–0.029 3, R=454.1	<0.000 1	0.700 6	454	38.7	376.2～531.9
股骨重量 Femur weight/g	L=1.563 2, U=–0.001 14, R=479.8	<0.000 1	0.628 3	480	49.5	380.2～579.3
股骨灰分重量 Femur ash weight/g	L=0.741 2, U=–0.000 70, R=502.9	<0.000 1	0.686 7	503	46.9	408.5～597.3
胫骨重量 Tibia weight/g	L=2.180 4, U=–0.001 70, R=496.9	<0.000 1	0.684 4	497	46.2	403.9～589.9
胫骨灰分重量 Tibia ash weight/g	L=0.9892, U=–0.000 99, R=501.8	<0.000 1	0.719 8	502	43.2	414.9～588.7
跖骨重量 Metatarsus weight/g	L=1.291 6, U=–0.000 78, R=474.9	<0.000 1	0.546 7	475	57.6	358.9～590.8
跖骨灰分重量 Metatarsus ash weight/g	L=0.563 2, U=–0.000 52, R=472.2	<0.000 1	0.643 8	472	46.7	378.3～566.0
均值 Mean				476		

表 8 折线模型评定 1～42 日龄肉仔鸡对饲粮 25-OH-D_3 的需要量

Table 8 Dietary 25-OH-D_3 requirement of broilers aged from 1 to 42 days estimated based on broken-line model

评价指标 Response criteria	模型参数 Model parameters	*P* 值 *P*-value	R^2	25-羟基维生素 D_3 需要量 25-OH-D_3 requirement/(IU/kg)	渐进标准误 Asymptotic SE	渐进 95%置信区间 Asymptotic 95% CI
平均日增重 ADG/g	L=63.914 6, U=–0.074 1, R=471.2	<0.000 1	0.705 5	471	40.4	389.9～552.5
平均日采食量 ADFI/g	L=119.000 0, U=–0.095 1, R=461.7	<0.000 1	0.587 0	462	50.9	359.4～564.1
股骨重量 Femur weight/g	L=4.799 6, U=–0.004 79, R=471.7	<0.000 1	0.696 8	472	41.3	388.6～554.8
股骨灰分重量 Femur ash weight/g	L=2.152 0, U=–0.002 63, R=452.7	<0.000 1	0.713 4	453	37.4	377.5～527.8
胫骨重量 Tibia weight/g	L=6.768 4, U=–0.008 21, R=439.0	<0.000 1	0.736 3	439	33.8	371.0～507.0
胫骨灰分重量 Tibia ash weight/g	L=3.142 8, U=–0.004 14, R=442.6	<0.000 1	0.732 5	443	34.5	373.1～512.1
跖骨重量 Metatarsus weight/g	L=3.825 4, U=–0.004 01, R=430.7	<0.000 1	0.684 6	431	37.4	355.4～506.0
跖骨灰分重量 Metatarsus ash weight/g	L=1.696 0, U=–0.002 11, R=411.7	<0.000 1	0.692 0	412	34.8	341.6～481.7
均值 Mean				448		